

11. OKT. 1977

Interner Bericht
DESY H2-77/02
August 1977

Bunch-Trigger-Generatoren für DORIS und PETRA

von

S. Pätzold

Abbildungen

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Zusammenfassung	1
2. Prinzip	1
3. Bestehende und geplante Anwendungen	3
4. Geräte-Daten	4
5. Bedienung	5
6. Schaltungsbeschreibung	7
6.1 Frequenzteiler 10/11:1 und Synchronizer	7
6.2 Teilerkette und Ausgänge	7
6.3 Tastenlogik	8
6.4 n-Zähler	9
6.5 b-Zähler	9
7. Anwendung bei der optischen Bunchformmessung	9
8. Geplante Erweiterungen	11
8.1 Umschaltung DORIS/PETRA	11
8.2 STEP-Eingang/Ausgang	12
8.3 Bunch-Takt-System für PETRA	12

Abb. 1	Bunch-Trigger-Generator, Ansicht
Abb. 2	Block-Diagramm
Abb. 3	Ausgangssignale
Abb. 4	Zeitliche Stabilität
Abb. 5	Zeitverschiebung als Funktion der Eingangsleistung
Abb. 6	HIGH SPEED SECTION, Ansicht
Abb. 7	Frequenzteiler und Synchronizer
Abb. 8	Gesamt-Schaltbild
Abb. 9	HIGH SPEED SECTION, Bestückungsplan
Abb. 10	Tasterfunktionen
Abb. 11	Bunchformregistrierung in DORIS
Abb. 12	Bunchbilder mit Bunchformschwingungen
Abb. 13	Bunchbilder

1. Zusammenfassung

Für die zeitliche Steuerung von Strahltransfer-Vorgängen und Messungen an den Speicherringen DORIS und PETRA, wurden Bunch Trigger Generatoren entwickelt, die ein Referenzsignal aus den Steuersendern der Beschleuniger erhalten und daraus umlaufsynchrone Taktsignale erzeugen. Die zweite, verbesserte Geräteversion für PETRA in 500-MHz-Digitaltechnik wird hier beschrieben.

Die erzeugten Taktsignale besitzen eine zeitliche Stabilität in der Größenordnung von 10 ps; sie sind reproduzierbar um beliebig einstellbare Bucketzahlen verschiebbar.

Bei der Messung der longitudinalen Ladungsverteilung der DORIS-Bunche mittels Synchrotronstrahlung, Photozelle und Sampling-Oszilloskop sind Triggerstabilitäten von besser ± 5 ps erreicht worden.

2. Prinzip

Das den Bunch-Trigger-Generatoren (Abb.1) zugrunde liegende Prinzip zeigt das Blockschaltbild Abb.2 :

In der HIGH SPEED SECTION wird das 500-MHz Eingangssignal vom Petra-Steuersender durch eine digitale Teilerkette in seiner Frequenz um den Faktor $10 \cdot 3 \cdot 16 \cdot 8 = 3840$ geteilt. Dadurch entsteht ein petra-synchroner Umlauftakt von 130,2 kHz .

Für Sampling-Oszilloskope, die nur bis ca. 50 kHz triggerbar sind, ist ein zusätzlicher Teiler $\div 4$ eingebaut.

Die gewünschte Verschiebung des Umlauftaktes bezüglich der in PETRA umlaufenden Teilchen um ein bucket erfolgt durch einmaliges Umschalten des ersten Teilers von 10 : 1 auf 11 : 1. Dieser Vorgang wird vom "langsamem" SKIP-Befehl ausgelöst und durch zwei Flipflops mit den Zählvorgängen im Teiler synchronisiert. Soll der Umlauftakt um N_1 buckets verspätet werden, so erzeugt die LOW SPEED SECTION mit Hilfe des n-Zählers N_1 Ship-Befehle. Soll der Umlauftakt um N_2 buckets früher erscheinen, so werden $(3840 - N_2)$ Skip-Befehle abgezählt. Jeder Ship-Befehl erhöht auch den b-Zähler (Bucket-Zähler) und damit die Ziffernanzeige um 1 . Der b-Zähler zählt ...3839, 3840, 1, 2,

Die angezeigte Zahl stellt eine Bucket-Numerierung dar, deren Zuordnung zu den Buckets in PETRA bei allen Stellvorgängen erhalten bleibt. In der zweijährigen Praxis mit BTG's ist niemals ein unbeabsichtigtes Springen der Bucketzahl oder der Teilerkette beobachtet worden.

Um die Bucketzahl auf ein bestimmtes Bucket normieren zu können, ist die Bucketzahl auf 1 setzbar, ohne daß ein SKIP-Befehl die Umlaufakte ändert. Die entsprechende Taste = 1 kann erst nach Heben einer Klappe betätigt werden.

Das so markierte Bucket kann jederzeit leicht durch Drücken der Taste $\rightarrow 1$ (Sprung nach 1) wieder erreicht werden.

Die entscheidenden Merkmale des beschriebenen Prinzips sind :

- a) Nach jedem Verschiebevorgang befindet sich die gesamte HIGH SPEED SECTION im absolut gleichen elektrisch/thermischen Zustand. Unterschiede in der "Treffgenauigkeit" verschiedener Buckets oder der gleichen Buckets nach mehreren Umschiebungen sind nicht meßbar, d.h., kleiner als 2 ps.
- b) Die Durchlaufzeit durch die HSS beträgt ca. 20 ns. Trotzdem ist die Stabilität nach einer Stunde Anwärmezeit besser als 15 ps, gemessen über 1 Stunde.
- c) Nur die HSS (d.h. nur 8 von insgesamt 33 integrierten Schaltkreisen) ist zeitkritisch und daher nach UHF-Gesichtspunkten aufgebaut. Alle anderen Teile - auch eventuell später einzubauende Änderungen - beziehen sich nur auf die LOW SPEED SECTION, die in normaler TTL-LS-Technik gebaut ist.
- d) Das Prinzip hat bei der Verwirklichung keinerlei Schwierigkeiten bereitet. Das Gerät arbeitet bis über 600 MHz einwandfrei.

3. Bestehende und geplante Anwendungen

Von den bisher gebauten 4 DORIS- und 3 PETRA-BTGs sind 6 Geräte im Beschleunigerbetrieb eingesetzt für:

- a) DORIS-synchrone Einzelbunch-Erzeugung in den beiden LINACs für Einzelbunchbetrieb in DORIS. (2 BTGs).
- b) Strahlbeobachtung in DORIS mit elektrischen Pick-ups.
- c) Bunchformmessung in DORIS mit photoelektrischem Pick-up.
- d) Synchrotronstrahlungsexperimente an DORIS.
- e) PETRA-synchrone DESY → DORIS → DESY - Transfers bei Zwischenspeicherbetrieb (Vorversuche)

Weitere Geräte werden demnächst gefertigt für :

- f) PETRA-synchrone e⁻ Einzelbunch-Erzeugung für PETRA-Betrieb
- g) PETRA-synchrone e⁺ Einzelbunch-Erzeugung für PETRA-Betrieb ohne Zwischenspeicherung in DORIS (Strahltests)
- h) Strahlbeobachtung in den Strahlwegen bei Einzelbunch-Transfers.
- i) Bunchformmessung in PETRA mit photoelektrischen Pick-up.
- j) Strahlbeobachtung in PETRA mit elektrischen Pick-ups.
- k) Zeitliche Zuordnung von Schwingungsdetektor - Signalen (transversal und longitudinal) zu den 8 PETRA-Bunchen.
- l) Zeitliche Zuordnung von Strahlbeeinflussungs-Signalen (Feedback) zu den 8 PETRA-Bunchen.
- m) Trigger für PETRA-Experimente.

Die Anwendungen k) bis m) sollen durch ein "PETRA-BUNCHTAKT-SYSTEM" abgedeckt werden, das demnächst beschrieben wird.

4. Geräte - Daten

4.1 Erforderliches Eingangssignal

Frequenz fo	500 MHz
Kurvenform	sinusähnlich
Amplitude minimal	0,4 mW ≈ 140mV _{eff}
optimal	1 mW ≈ 220mV _{eff} ≈ 0 dbm
maximal	1,6 mW ≈ 280mV _{eff}
Eingangsimpedanz	50 Ω
Eingangsbuchse	BNC, Rückseite

4.2 Ausgangssignale Umlauftakt

Periode	7,68 μs
Frequenz	130,2 KHz $\left(\frac{fo}{3840}\right)$
Kurvenform	s. Abb.3
Dauer	0,96 μs
nichtige Flanke	Anstiegsflanke
Anstiegszeit	< 7 ns
Amplitude, offen	8 V ± 1V
Amplitude, abgeschlossen	6 V ± 0,5 V
Ausgangsimpedanz	50 Ω ± 2 Ω
Ausgangsbuchse 1	BNC, Frontseite
Ausgangsbuchse 2	BNC, Rückseite

4.3 Ausgangssignal Sampling-Trigger

Periode	30,72 μs
Frequenz	32,55 kHz = $\frac{1}{4} \cdot \frac{fo}{3840}$
Kurvenform	s. Abb. 3
wichtige Flanke	Anstiegsflanke
Dauer	10 ns ± 2 ns
Anstiegszeit	2,1 ns ± 0,5 ns
Amplitude, offen	2,0 V ± 0,4 V

Amplitude, abgeschlossen	1,2 V ± 0,2 V
Ausgangsimpedanz	60 Ω ± 10 Ω
Ausgangsbuche	BNC, Frontseite

4.4 Zeitbeziehungen zwischen Eingang und Ausgängen

Verzögerung Eingang → Umlauftakt	ca. 19 ns
Verzögerung Eingang → Sampling Trigger	ca. 21 ns
Zeitliche Stabilität (s. Abb.4)	

Rauschen f > 1 Hz	< 3 ps
Schwankungen in 1 min.	< 10 ps
Drift in 1 h	< 15 ps

Zeitliche Änderungen in Abhängigkeit von:

Netzspannungsänderungen ± 10 %	nicht meßbar (< 2 ps)
Umgebungstemperatur	< 3 ps/°C
Eingangsspannung	s. Abb. 5
Bunchnummer	nicht meßbar (< 2ps)

Fehlerhafte Bucketsprünge konnten nicht beobachtet werden.

4.5 Sonstiges

Abmessungen	19 Zoll-Einschub, 2 Höheneinheiten
Stromversorgung	220 V, 50 Hz, 40 VA

5. Bedienung (s. Abb. 1)

- 5.1 Das Gerät hat keinen Netzschalter. Wenn die Netzspannung anliegt, leuchten die Ziffernanzeigen.
- 5.2 Das Gerät benötigt ein 500-MHz-Referenzsignal mit einer Amplitude von ca. 220 mV_{eff}. Bei fehlendem oder zu geringem Signal bleibt die Bunchnummer bei Tastenbetätigung unverändert.

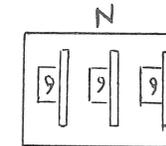
5.3 Die Ziffernanzeige



gibt an, welches Bucket vom Ausgangsimpuls markiert wird. Die Bunchnummer kann nur die Werte 1 bis 3840 annehmen.

- 5.4 Die Taste verzögert den Ausgangsimpuls einmalig um 2 ns, so daß das nächste, spätere Bucket markiert wird. Bei fortwährendem Drücken der Taste wiederholt sich die Inkrementierung nach jeder halben Sekunde, (gilt auch für die folgenden drei Tasten).
- 5.4 Die Taste verschiebt den Ausgangsimpuls um 2 ns zum nächsten, früheren bucket.
- 5.5 Die Taste verschiebt den Ausgangsimpuls um N Bucketabstände in Richtung spätere Buckets, wobei N die am Zifferschalter eingestellte Zahl ist.
- 5.6 Die Taste verschiebt den Ausgangsimpuls um N Bucketabstände in Richtung frühere buckets.

5.7 Am Zifferschalter



wird die Sprungzahl N zwischen 1 und 999 eingestellt.

- 5.8 Die Taste bewirkt, daß der Ausgangs-Impuls auf das Bucket Nr. 1 springt.
- 5.9 Die Taste wird durch eine Klappe gegen unbeabsichtigtes Berühren geschützt. Bei ihrer Betätigung wird die angezeigte Bucket-Nummer auf 1 gesetzt, ohne daß der Zeitbezug des Ausgangsimpulses geändert wird. Während alle anderen 5 Taster die Synchronität zwischen umlaufenden

Bunchen im Speicher-Ring und elektronischen Zuständen im BTG nicht ändern, findet beim Drücken der $\boxed{= 1}$ -Taste ein neues Einrasten statt, d.h., das Bucket Nr. 1 wird neu definiert.

6. Schaltungsbeschreibung

6.1 Frequenzteiler 10/10:1 und Synchronizer

Dieser entscheidende Teil des Gerätes (Abb. 6) benutzt einen Frequenzteiler 500 MHz : 10/11 in ECL-Technik (integrierte Schaltung Plessey SP 8685), der für phase locked loops in pulse swallowing technique (variable modulus prescaling) entwickelt wurde. (s. Abb. 7)

Der Teiler teilt die Eingangsfrequenz von 500 MHz normalerweise durch 10. Die entstehenden 50 MHz werden über einen Transistor als Pegelwandler ECL → TTL den nachfolgenden Teilern zugeleitet.

Wenn von der LOW SPEED SECTION ein SKIP-Befehl kommt, so teilt der Teiler einmal durch 11. Abb. 7 zeigt dazu die Zeitdiagramme. Der asynchron mit den Teilvorgängen eintreffende SKIP-Befehl wird durch die Q4 - Aufwärtsflanke synchronisiert, und schaltet erst Q5 und nach 10 weiteren 2 ns-Takten auch Q6 ein. Das Signal (Q5 oder Q6) ist für eine 20 ns-Periode LOW und veranlaßt den Teiler, einen zusätzlichen 2 ns-Takt abzuzählen. Dadurch wird die gesamte Teilerkette und der Ausgangsimpuls um ein Bucket verzögert.

6.2 Teilerkette und Ausgänge

Um geringste Durchlaufverzögerungen zu erreichen, wäre eine durchgehende Synchron-Teilerkette anzustreben. Aus Geschwindigkeitsgründen ist dies nicht möglich, sondern es wird zuerst eine Teilung durch 3 mit zwei 74S112 FLIPFLOPS bewirkt (s. Schaltbild Abb. 8) und die entstehenden Impulse mit einer Periode von 60 ns werden weiter durch 128 (ergibt PETRA-Umlauffrequenz) und 4 (ergibt Sampling-Scope-Trigger) geteilt. Dann erfolgt eine Nachsynchronisierung an H, PIN 1 bzw. G, PIN 12.

Die Endstufen sind Stromgeneratoren von 240 mA Impulsstrom, die an der Parallelschaltung vom innerem und äußerem 50 Ω - Widerstand 6 V-Impulse erzeugen, die ohne externen Abschlußwiderstand auf 8 V ansteigen. Die Impulsform zeigt Abb. 3 .

6.3 Tastenlogik

Die Abb. 10 (Tasterfunktionen) zeigen, welche Wirkungen die 6 Frontplattentaster auf den b- und n-Zähler haben. Der b-Zählerstand ist die aktuelle, auf der Ziffernanzeige sichtbare Bunchnummer, während der n-Zähler die durch die Tasten geforderten Schritte abzählt.

a) Die $\boxed{+ 1}$ -Taste setzt den n-Zähler auf 1 und läßt ihn dann abwärts bis n = 0 zählen. Dadurch erhöht sich b um 1.

b) Die $\boxed{- 1}$ -Taste setzt den n-Zähler auf 1 und läßt ihn aufwärts laufen, bis n = 3840 erreicht ist. Dadurch erhöht sich b um 3839. Da b modulo 3840 zählt, ist dies gleichbedeutend mit -1.

c) Die $\boxed{+ N}$ -Taste setzt den n-Zähler auf N und zählt dann abwärts bis n = 0. Dadurch wird b um N erhöht.

d) Die $\boxed{- N}$ -Taste setzt den n-Zähler auf N und zählt dann aufwärts bis 3840. Es werden also (3840-N) Schritte gezählt, die den b-Zähler ebenso oft erhöhen, was einer Zurückzählung um N entspricht.

e) Die $\boxed{\rightarrow 1}$ läßt den b-Zähler vorwärts laufen bis 1 erreicht ist. Der n-Zähler ist unwirksam.

Bei den unter a) bis e) aufgeführten Tasten wird die in der HSS verursachte Verzögerung um die gleiche Anzahl Impulse wie der b-Zähler vorangezählt.

f) Die $\boxed{= 1}$ -Taste setzt den b-Zähler auf 1, ohne die Verzögerung, d.h. den markierten Bunch zu ändern. Der letztere erhält damit die Bunchnummer 1.

Alle Taster sind durch R-S-Flip-Flops entprellt. Eine Logik mit Exklusiv-OR-Gates schließt falsche Ergebnisse durch Doppelbetätigung aus. Die Tasterinformationen werden während des Laufs des n- und b-Zählers gespeichert.

Wenn eine Taste gedrückt wird, schaltet der RUN-Flip-Flop auf HIGH und die von der HSS (Frequenzteiler) kommenden Zählimpulse werden in der oben beschriebenen Anzahl an n- und b-Zähler geliefert bis die jeweilige STOP-Bedingung erfüllt ist.

4.7 n-Zähler

Der n-Zähler ist ein vom Zifferschalter an der Frontplatte setzbarer synchroner vier-dekadischer Aufwärts-Abwärts-Zähler. Die Zählerzustände 0 und $\bar{3}$ 3840 werden dekodiert und dienen bei bestimmten Tasten als Stop-Bedingung.

Soll der n-Zähler mit 1 geladen werden (Taster $\boxed{+1}$ und $\boxed{-1}$), so wird der Zifferschalter durch Gate D2 unwirksam gemacht, d.h. alle Eingänge - bis auf den mit der Wertigkeit 1 - werden LOW.

4.8 b-Zähler

Der b-Zähler ist ein synchroner vier dekadischer Aufwärts-Zähler, dessen Zustand 3841 dekodiert und zum Rücksetzen auf 1 benutzt wird.

7. Anwendung bei der optischen Bunchformmessung

Die Bunchformmessung soll die longitudinale Ladungsverteilung in den DORIS-Bunchen erfassen, um daraus Rückschlüsse auf Instabilitäten, higher order mode losses und andere Strahlparameter ziehen zu können.

Die Erfassung formgetreuer Bunchsignale mit kapazitiven oder induktiven Aufnehmern hat sich wegen Resonanzerscheinungen der umgebenden Kammerwände als unmöglich erwiesen. Demgegenüber liefert die unter dem Einfluß eines Ablenkfeldes vom Strahl abgegebene Synchrotronstrahlung ein getreues Abbild der Bunchstruktur. Wie Abb. 11 zeigt, wurde diese auch im sichtbaren Spektralbereich auftretende Strahlung per Spiegel und Linsen auf eine ultraschnelle Fotozelle (Typ HSD 50 der Instrument Technology Limited; Anstiegszeit < 100 ps) fokussiert, von einem Sampling-Oszilloskop (Tektronix 7704 + 7S12 + S4; Anstiegszeit < 30 ps)

ausgewertet und auf einem X-Y-Schreiber aufgezeichnet.

Das Sampling-Verfahren erfordert einen Triggerimpuls, der vor dem Eintreffen der Bunchsignale den Abtastvorgang startet. Die Triggersignale müssen mit höchster zeitlicher Stabilität mit dem zu messenden Signal synchron sein.

Da die Bunche ihrerseits über Leistungssender und Cavities mit den DORIS-Steuersender synchronisiert sind, benutzt der Bunch-Trigger-Generator das 500 MHz-Signal des Steuersenders und erzeugt daraus durch digitale Frequenzteilung, um den Faktor $480 \cdot 32 = 15360$ den Triggerimpuls von 32,55 kHz. Der gemessene Bunch wird also bei jedem 32. Umlauf in DORIS abgetastet.

Da ein Registriervorgang wegen der gebotenen Signal-Mittelung ca. 20 Sekunden dauert, besteht ein Bunchbild aus ca. 640 000 Abtastungen.

Bei Speicherringuntersuchungen entstanden hunderte von Bunchbildern, von denen zwei Beispiele ausgewählt wurden:

Abb. 12 zeigt einen Bunch mit bunch shape oscillation, die die beiden charakteristischen Knotenpunkte auf den beiden Flanken erzeugen.

Auf der Abb. 13 sind 8 Bunche registriert, die gleichmäßig auf dem DORIS-Umfang verteilt sind. Dazu wurde der Bunch Takt Generator jeweils um 60 Buckets weitergestellt. Die Bunche zeigen eine Lagemodulation mit einem Hub von 250 ps, die durch den DORIS-"Entkoppelsender" hervorgerufen wird.

Die in der Abbildung sichtbaren Nachschwinger sind durch elektrische Reflexionen in der Fotozelle bedingt und wurden durch Entwicklung eines neuen koaxialen Fotozellengehäuses auf unter 5 % gebracht.

Wie Messungen an den Flanken stabiler Bunche gezeigt haben, ist der durch den Bunch-Trigger-Generator gelieferte Zeitbezug auf besser als ± 5 ps während einer Messung (20 Sekunden) stabil. In dieser verbleibenden Unsicherheit ist die Phaseninstabilität der 500 MKz-Kabel (ca. 200 m) und des Leistungssenders sowie die interne Kurzzeitschwankung des Sampling-Oszilloskops enthalten. Die extreme Stabilität wird erst nach ein-stündigem Einlaufen der Apparatur erreicht.

8. Geplante Erweiterungen

Um die wechselnden Anforderungen an die Bunch Trigger Generatoren erfüllen zu können und gleichzeitig eine Standardisierung zu erreichen, wird die nächste Serie mit den unter 8.1 und 8.2 zu beschreibenden Erweiterungen versehen.

8.1 Umschaltung DORIS - PETRA

Ein Kippschalter an der Rückseite des Gerätes soll die Umschaltung DORIS-PETRA nach folgendem Schema gestatten :

	DORIS	PETRA
Interne Umschaltungen:		
Teilerkette	: 480	: 3840
b-Zähler	1...480	1...3840
n-Zähler	0...479	0...3839
Umlauftakt		
Periode (ns)	960	7680
Dauer (ns)	120	960
Sampling-Trigger		
Periode (ns)	30,72	30,72
Dauer (ns)	10	10

Durch diese Eigenschaft werden die BTG's universell einsetzbar, die Typenzahl wird eingeschränkt, die Serienproduktion vereinfacht.

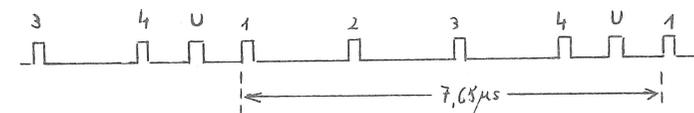
8.2 STEP-Eingang/Ausgang

Das interne STEP-Signal soll über einen 50 Ω -Kabeltreiber an eine Ausgangsbuchse gelegt werden und zusätzlich soll ein 50 Ω - STEP-Eingang geschaffen werden.

Verbindet man den STEP-Ausgang eines "MASTER-BTG" mit dem STEP-Eingang eines "SLAVE-BTG", so folgt der "SLAVE" allen Bucket-Verschiebungen des "MASTERS" und berücksichtigt dies auch in der Bucketnummer-Anzeige. Diese Verknüpfungsmöglichkeit wird im Zusammenhang mit PETRA-Transfers benötigt.

8.3 PETRA-Bunchtakt-System

Im PETRA-Kontrollraum wird eine Vielzahl von Meß- und Strahlbeeinflussungsgeräten die Bunchlage-Information benötigen. Dabei ist auch eine Einigung über eine einheitliche Bunch-Nummerierung von 1 bis 4 für jede Teilchenart erforderlich. Diese Aufgabe wird ein PETRA-Bunchtakt-System übernehmen, das demnächst in einem gesonderten Bericht beschrieben wird. Ein einziger BTG stellt ein Bezugsraster zur Verfügung, an das beliebig viele Benutzer an "64-ns-Anzapfungen" angehängt werden können. Das an den Benutzer abgegebene Signal (s. Abb.) ist eine in 7,68 µs wiederkehrende Folge von 4 Impulsen, die den Bunchzeitpunkt am Meßort markieren und einem Umlauf-Impuls, der den Bunch Nr. 1 markiert. Dieses Signal wird getrennt für Elektronen und Positronen geliefert.



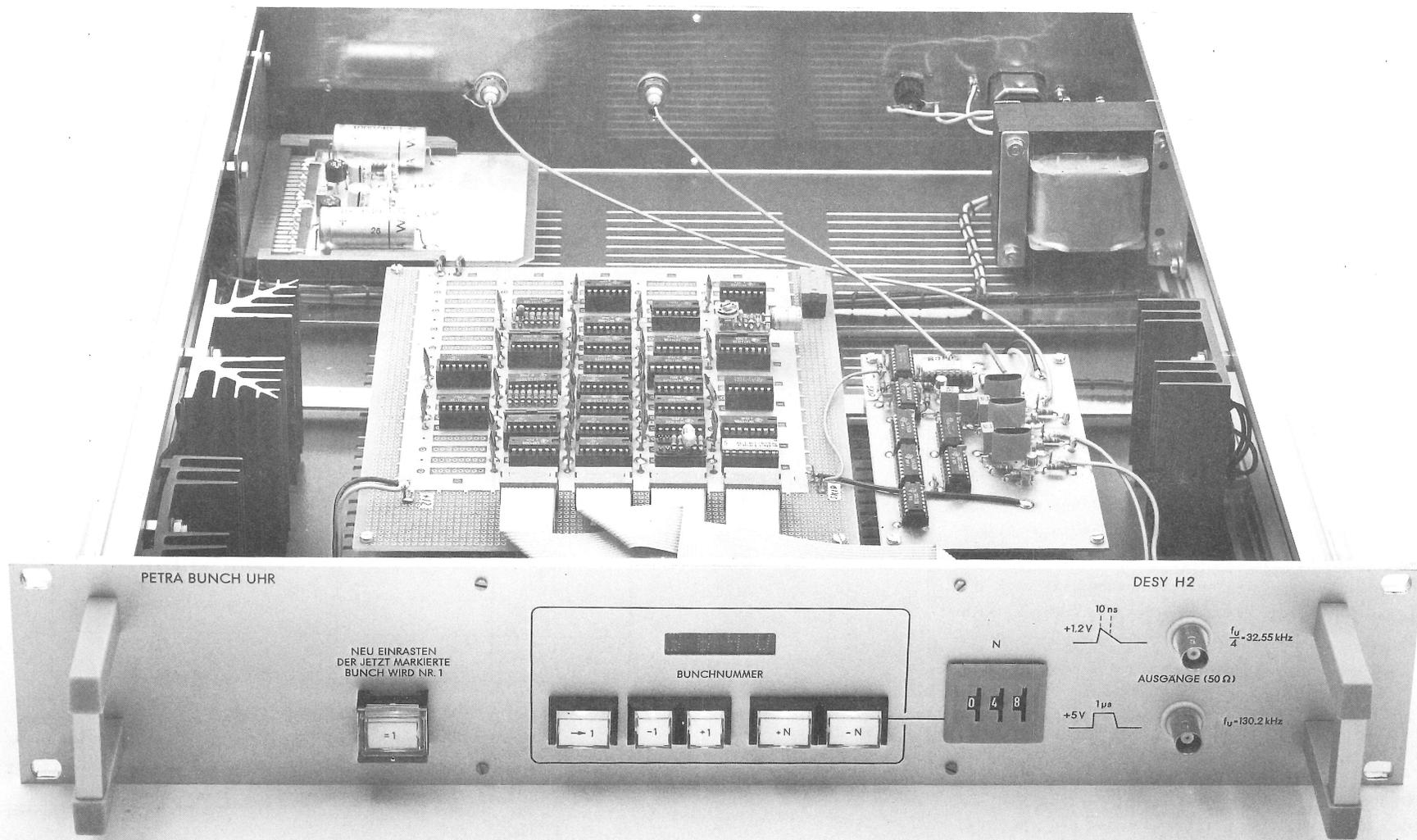


Abb. 1

Bunch - Trigger - Generator, Ansicht

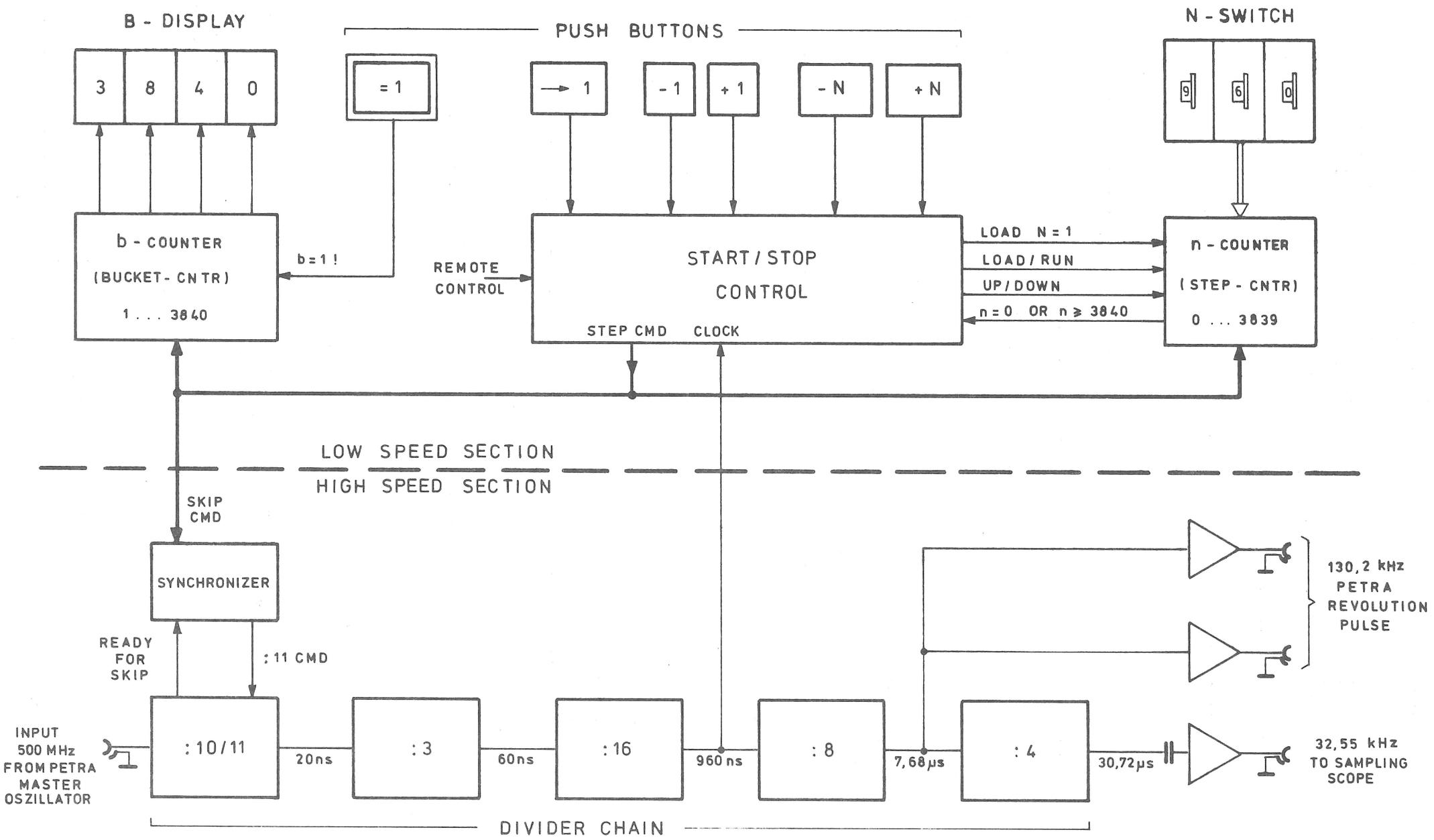


Abb. 2

BUNCH TRIGGER GENERATOR
BLOCKDIAGRAMM

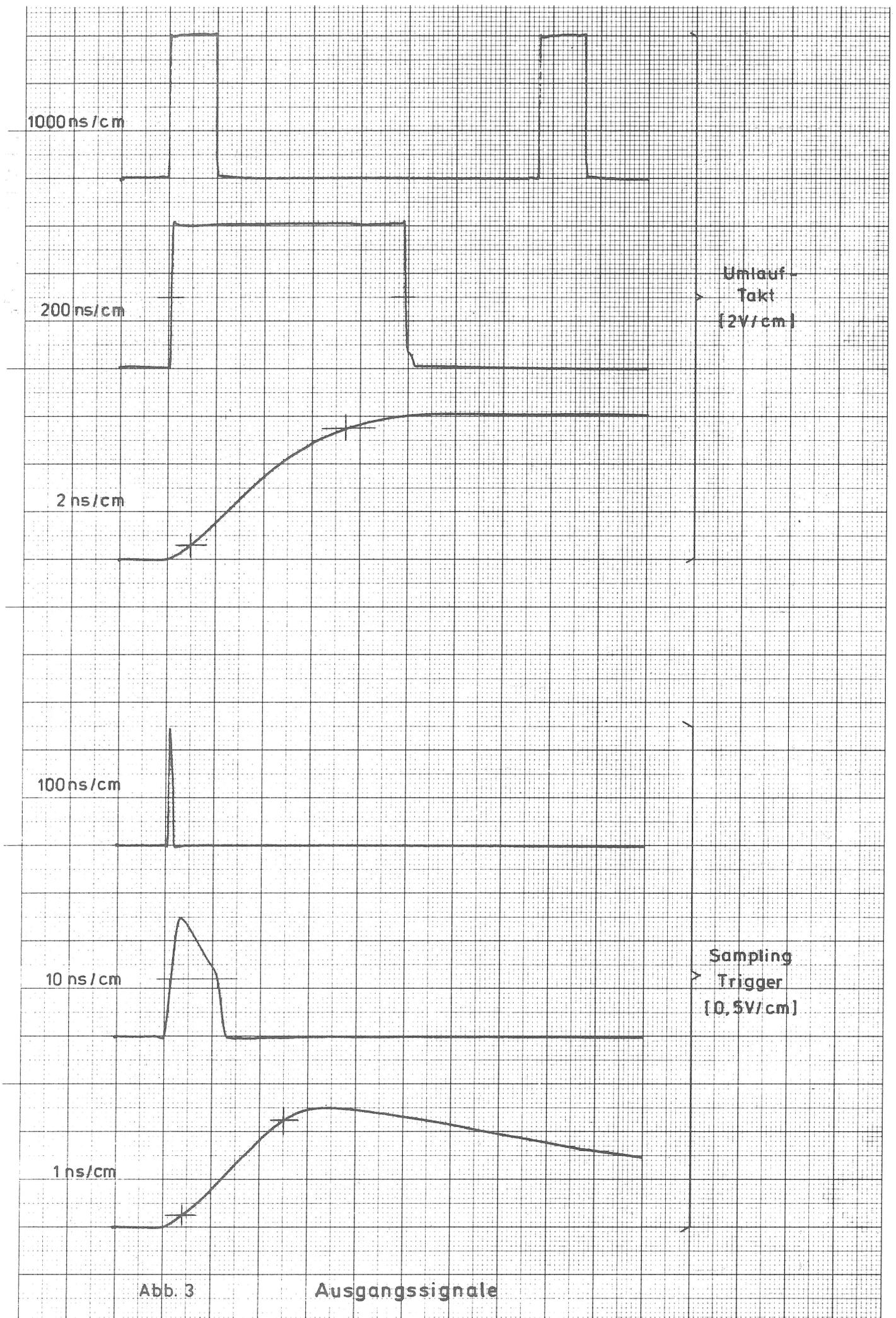


Abb. 3

Ausgangssignale

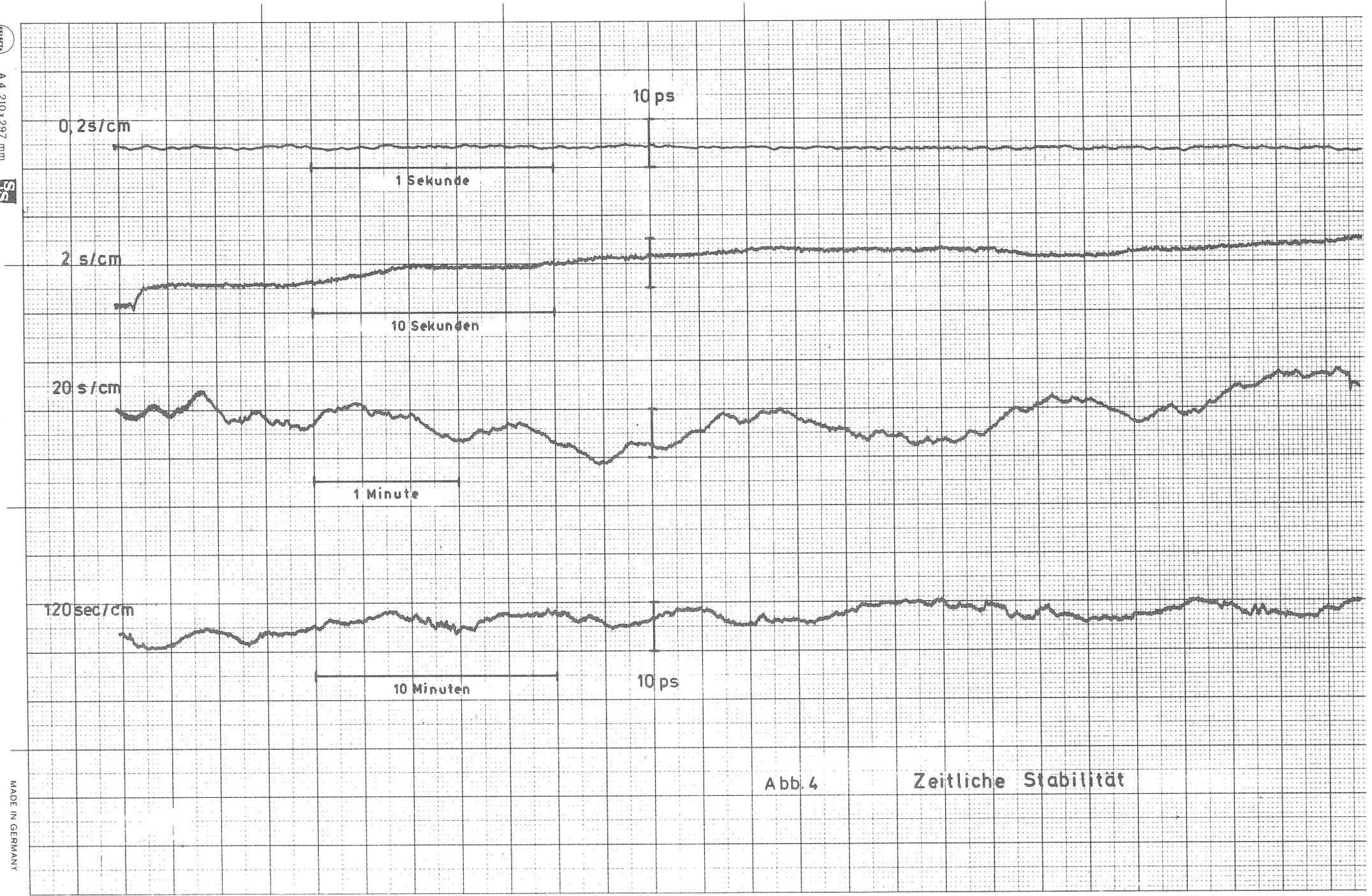


Abb. 4

Zeitliche Stabilität

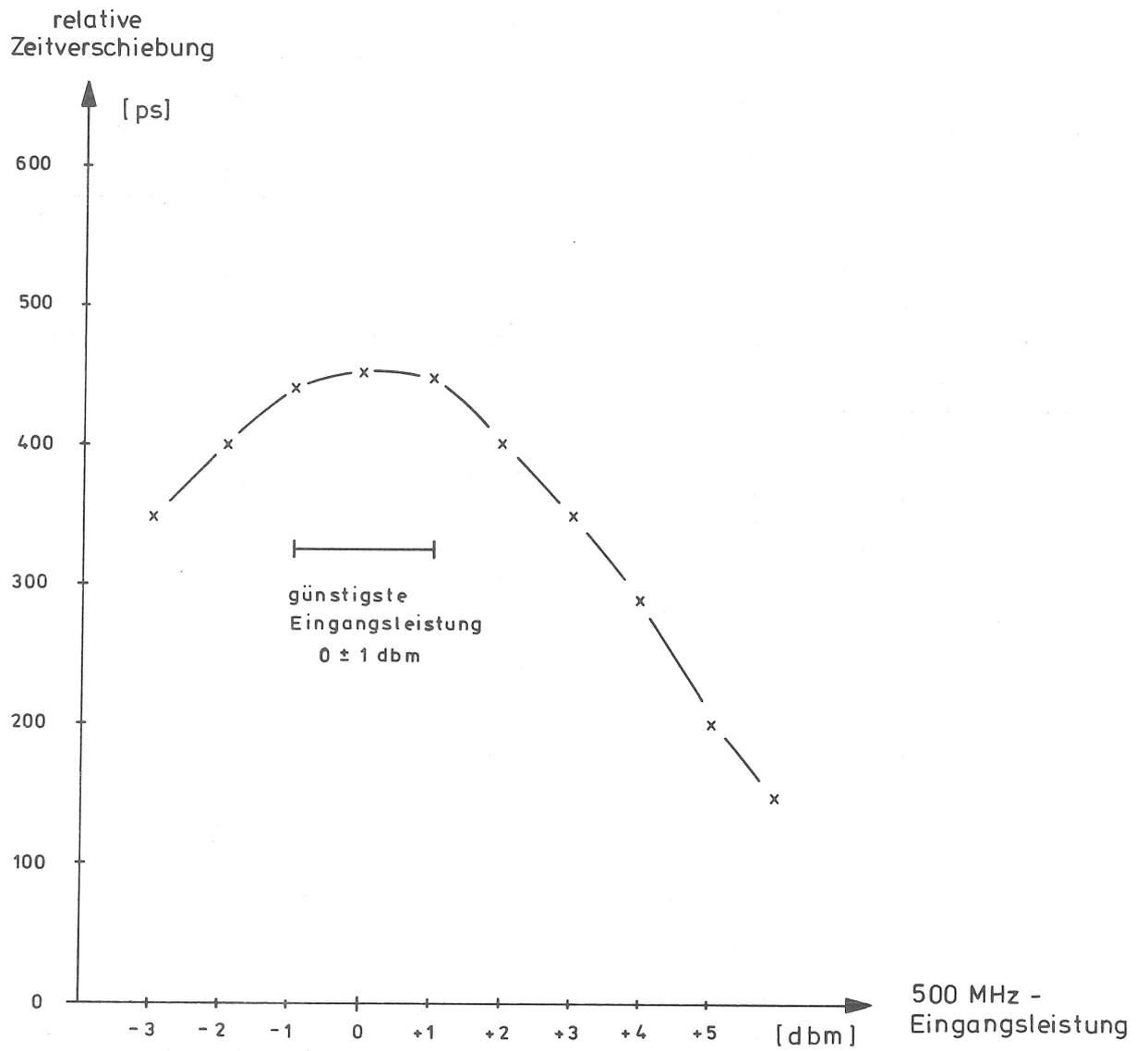


Abb. 5 Zeitverschiebung des Umlauftriggers als Funktion der Eingangsleistung

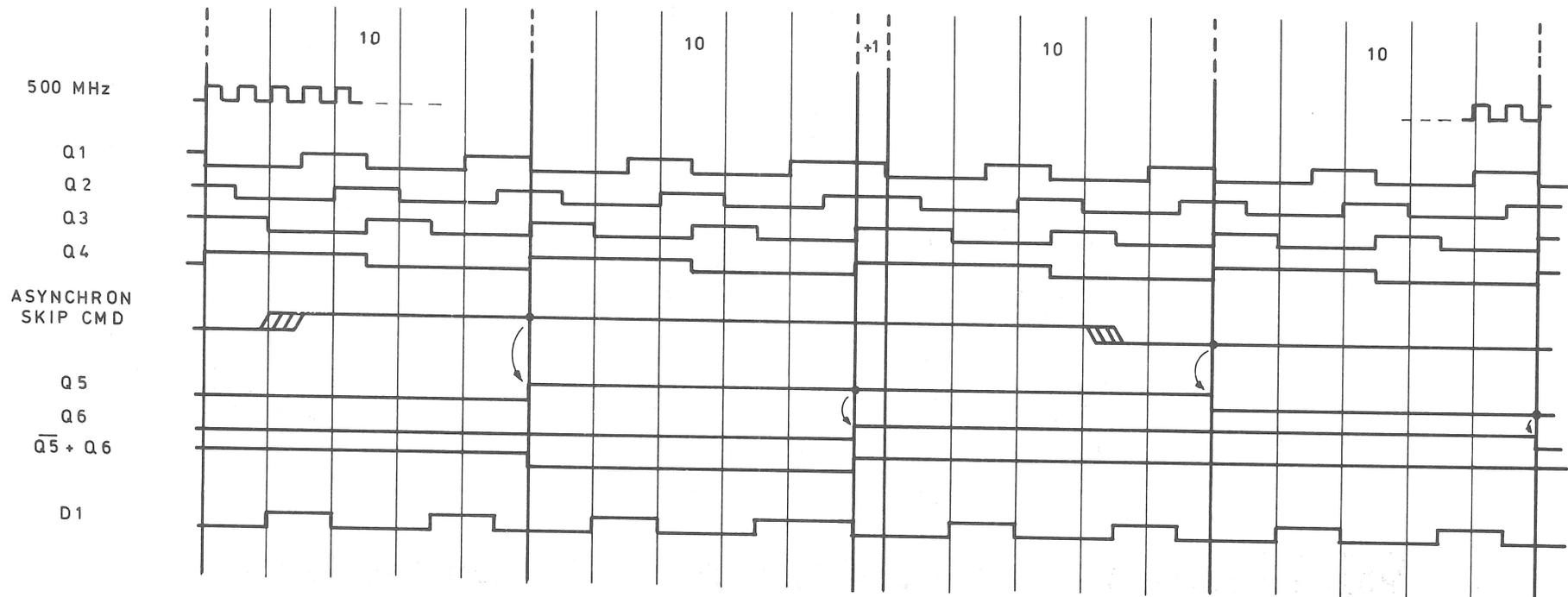
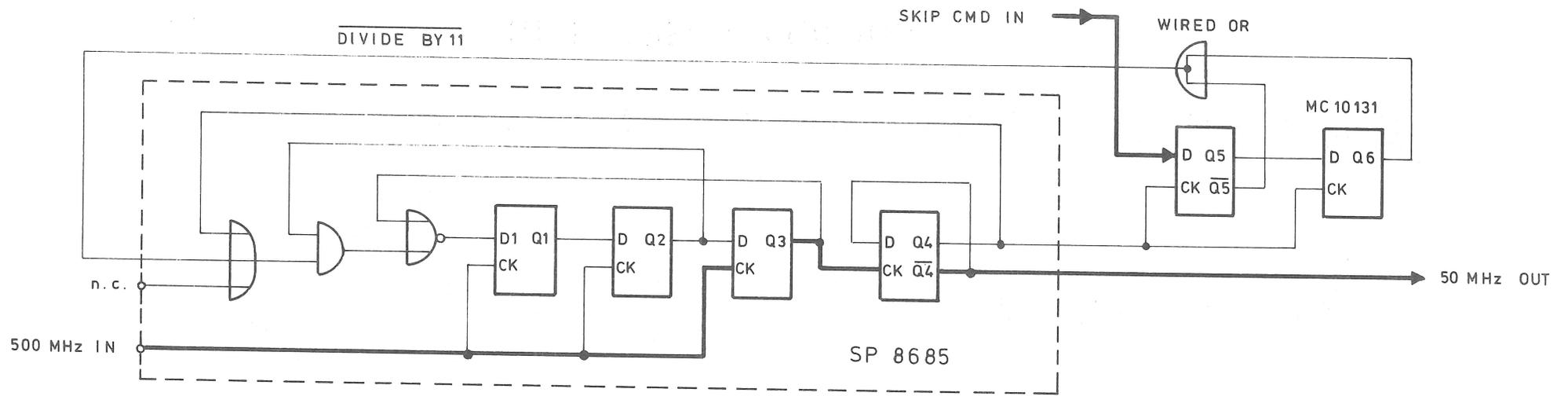


Abb. 7

Frequenzteiler 10/11 : 1 und Synchronizer

betätigte Taste	Anzahl der Zählimp.	b-Zähler - Stand		n-Zähler läuft	Stop durch
		vorher	nachher		
$+1$	1	x	$x+1$	↓	$n = 0$
-1	3839	x	$x-1$	↑	$n = 3840$
$+N$	N	x	$x+N$	↓	$n = 0$
$-N$	$3840-N$	x	$x-N$	↑	$n = 3840$
$\rightarrow 1$	$3841-x$	x	1	—	$b = 1$
$= 1$	0	x	1	—	—

Abb. 10 Taster Funktionen

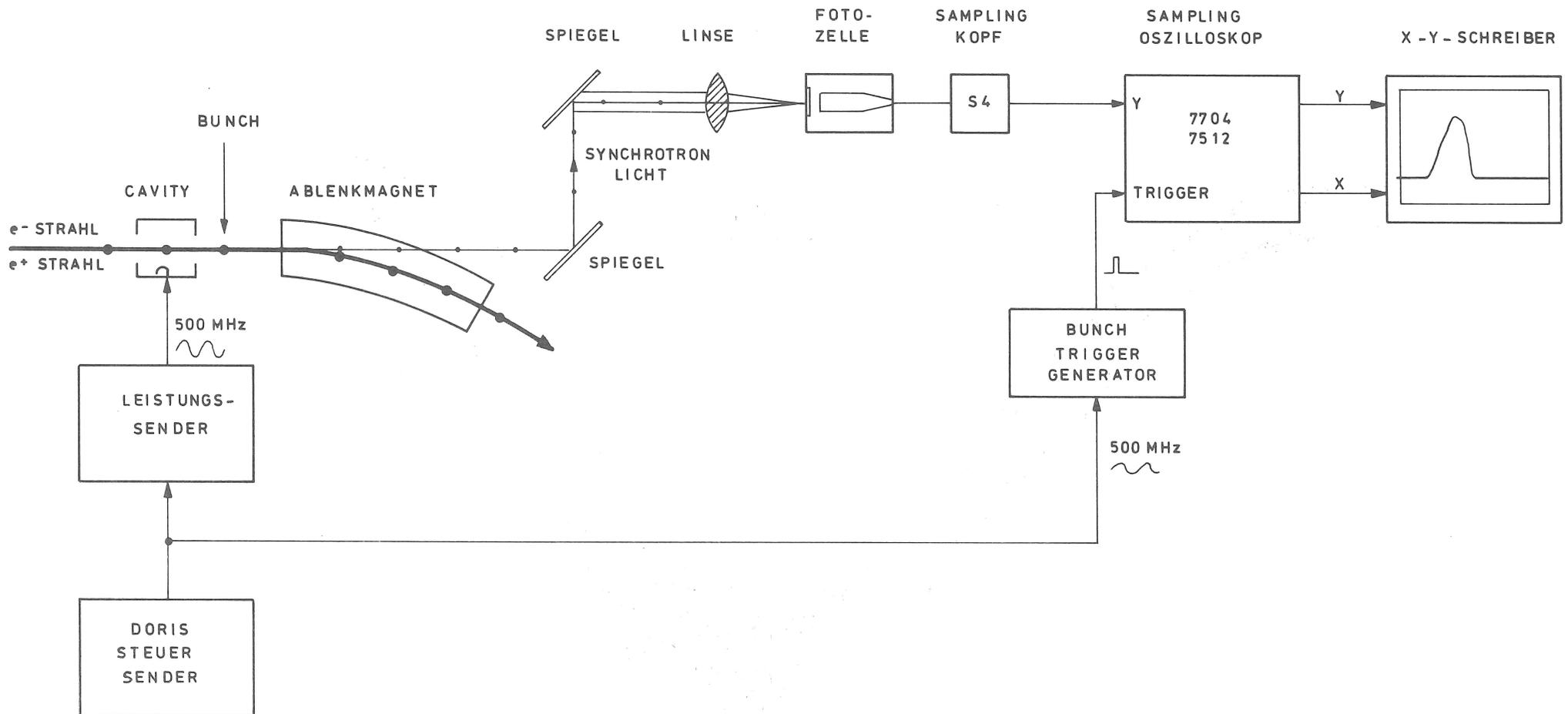


Abb. 11

Bunchform - Registrierung
in DORIS

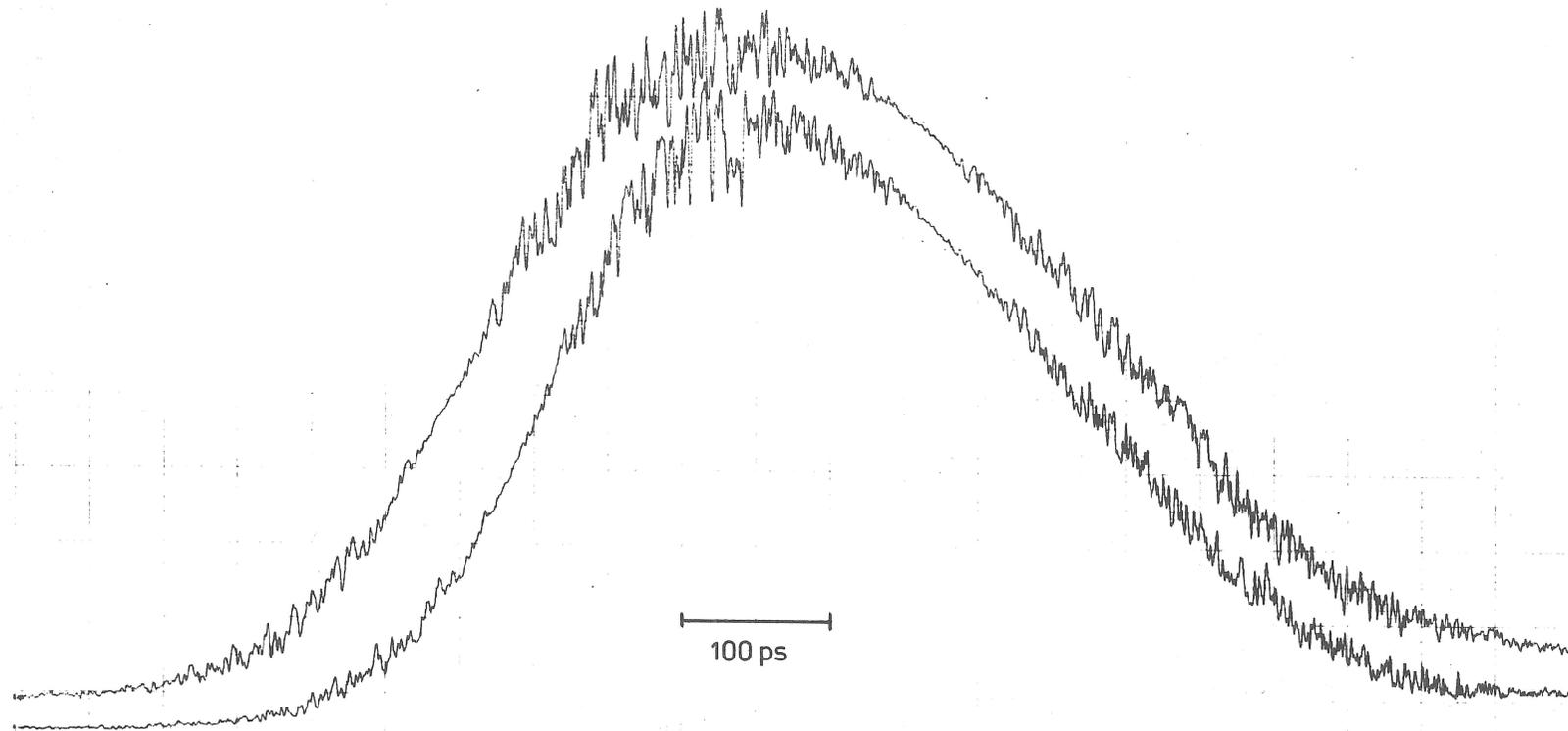


Abb. 12

Bunchbild mit Bunchformschwingungen

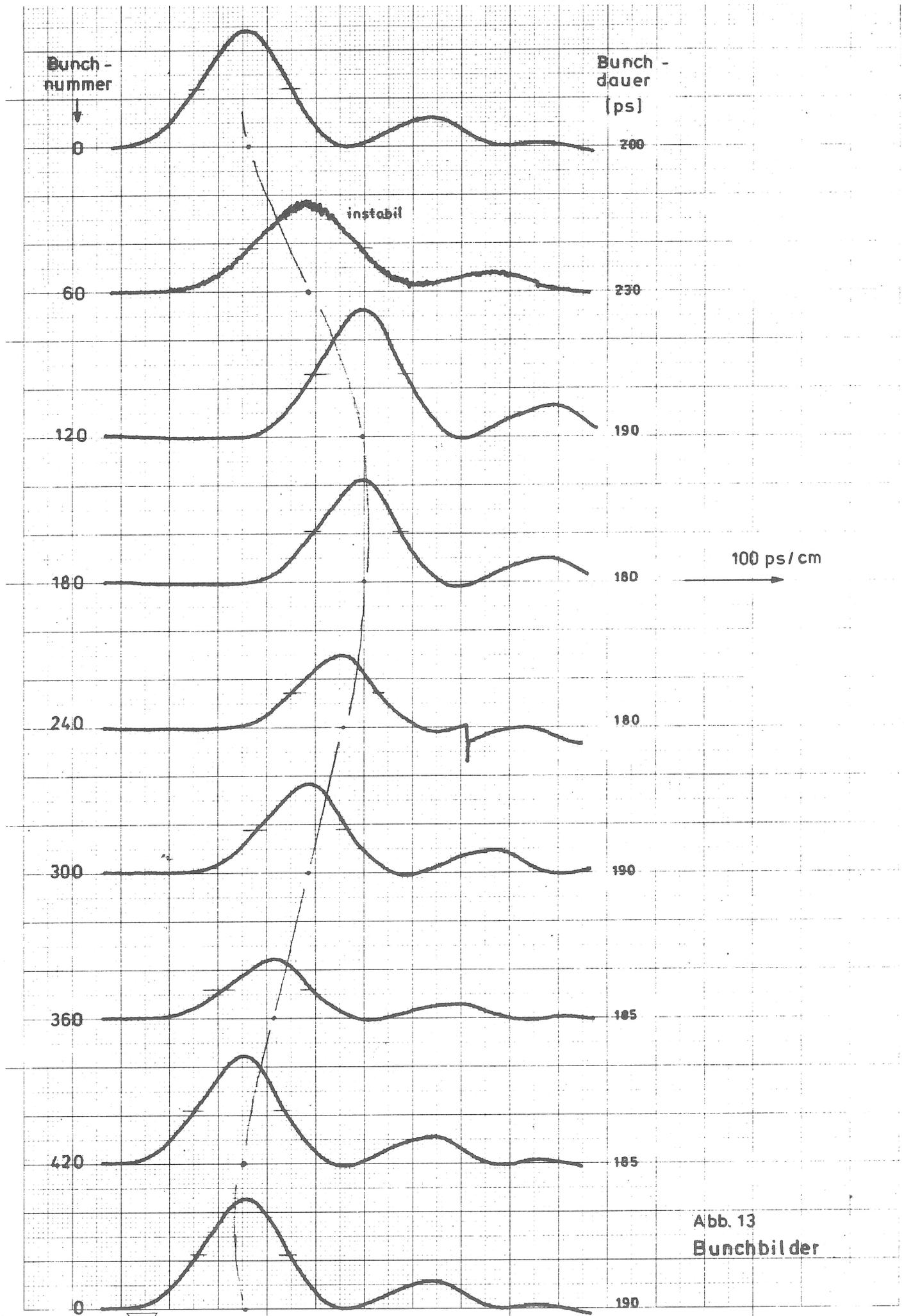


Abb. 13
Bunchbilder

